

Lassi Kaivosoja

TUOTEKEHITYSPROJEKTI SYSTEMAATTISEN KONESUUNNITTELUN POHJALTA

TUOTEKEHITYSPROJEKTI SYSTEMAATTISEN KONESUUNNITTELUN POHJALTA

Lassi Kaivosoja
Opinnäytetyö
Syksy 2015
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, koneautomaatio

Tekijä: Lassi Kaivosoja

Opinnäytetyön nimi: Tuotekehitysprojekti systemaattisen konesuunnittelun pohjalta

Työn ohjaaja: Timo Väyrynen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2016 Sivumäärä: 32 + 1 liite

Työssä suunniteltiin laite ja todennettiin sen ratkaisut Pohjois-Suomen suurelle elintarvikejalostamolle. Toimeksiantajan tarpeena oli saada laite, jolla voitiin vähentää erään tuotteen käsityön määrää valmistuslinjalla. Toiveena oli liittää kone suoraan pakkauskoneen perään. Käsityö valmistuslinjalla vaikeutti tuotteen laatutason ylläpitoa. Laitteen ulkomuoto ja ominaisuudet luvattiin pidettäväksi salassa, minkä vuoksi opinnäytetyön raportti keskittyy tuotekehitysprojektin toteutukseen.

Opinnäytetyön aiheen pohjalta muodostettiin tuotekehitysprojekti, joka suunniteltiin innovaatioprosessin ja systemaattisen konesuunnittelun metodien mukaan. Projektin tavoitteena oli tehdä suunnitelmat laitteesta ja todentaa ne proof-of-concept-prototyypillä. Proof-of-concept-prototyyppi todistaa ratkaisujen toimivuuden käytännössä. Suunnittelu jaettiin esisuunnitteluun ja yksityiskohtaiseen suunnitteluun. Esisuunnittelussa tarve pilkottiin kuuteen osatoimintoon, joiden pohjalta suunniteltiin muutama kokonaistoiminto. Näistä valittiin toimeksiantajan kanssa parhain. Yksityiskohtaisessa suunnittelussa parhaimman kokonaisuuden pohjalta suunniteltiin tuotekehitysprojektin lopullinen laite.

Prototyyppi rakennettiin todentamaan projektin suunnittelun tuloksia. Sen tarkoituksena ei ollut esittää lopullista laitetta, vaan todentaa laitteen toimintojen toimivuus käytännössä. Prototyyppi kuvasi karkeasti yksityiskohtaisen suunnittelun laitetta. Sen toimivuutta ja osatoimintoja testattiin kolmessa osassa uretaanipaloilla. Lopuksi prototyyppiä testattiin varsinaisella raaka-aineella, minkä jälkeen tehtiin viimeiset korjaukset prototyyppiin.

Opinnäytetyön tuloksena oli muun muassa CAD-malli, projektidokumentointi sekä kuva- ja videotodisteet suunniteltujen toimintojen toimivuudesta. Toimeksiantaja kävi katsomassa prototyyppiä viimeisessä testausvaiheessa ja hyväksyi lopuksi prototyypin. Kokonaisuutenaan opinnäytetyöprojekti onnistui erittäin hyvin. Toimeksiantaja oli erittäin tyytyväinen tuloksiin. Tavoitteisiin päästiin ja osa niistä ylitettiin.

Asiasanat: VDI-2222, konesuunnittelu, tuotekehitys, proof-of-concept

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Mechanical and Production engineering, Machine Automation

Author: Lassi Kaivosoja

Title of thesis: Product Development Project Based on Systematic Machine Planning

Supervisor: Timo Väyrynen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2016 Pages: 32+1 appendices

The subject of this thesis was to plan a machine and prove its functionality. The project was commissioned by a big food manufacturer from Northern Finland. The client's need was to have a machine that reduces the amount of handwork in a certain processing line. In addition, the machine could be attachable to a packaging machine. It was challenging to maintain product quality because of the handwork at the production line.

Based on the thesis, a product development project carried out. The project was planned from the methods found in the innovation process and systematic machine planning. The objective of the project was to design a CAD model of the machine and prove it by making a proof-of-concept prototype. The proof-of-concept-prototype proves the chosen ideas in practice. The project was divided into preplanning and detailed planning. In the preplanning the problem was reflected from various angles and in the detailed planning the problem was solved.

The prototype was made to prove the designs made in the preplanning and detailed planning. Its purpose was not to be a complete machine but to prove the functionality of the machine. The prototype was tested in three parts. The prototype was a success and it fulfilled its purpose.

The outcome of the project included a CAD model, project documentation and photos and videos of the prototype. The client saw the prototype and approved it in the last testing phase. As a whole, the thesis project was a success. The client was satisfied with the results and all of the objectives were met.

Keywords: VDI-2222, machine planning, product development, proof-of-concept

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 INNOVAATIOPROSESSI	8
3 SYSTEMAATTINEN KONEENSUUNNITTELU	9
3.1 Tuotekehitysprojektin spesifointi	9
3.2 Esisuunnitteluvaihe	10
3.3 Yksityiskohtainen suunnittelu	14
3.4 Prototyypin valmistus tuotekehitysprojektissa	15
4 OPINNÄYTETYÖPROJEKTIN SUUNNITTELU	17
5 LAITTEEN SUUNNITTELUVAIHEIDEN TOTEUTUS	18
5.1 Esisuunnittelu	18
5.2 Yksityiskohtainen suunnittelu	20
6 PROTOTYYPIN TOTEUTUS	23
6.1 Valmiiden komponenttien ja käytettävien materiaalien valinta	23
6.2 Osien valmistaminen ja kokoonpano	24
6.3 Prototyypin ohjausjärjestelmä	25
6.4 Prototyypin testaaminen	25
7 TUOTEKEHITYSPROJEKTIN TULOKSET	27
8 POHDINTA	30
LÄHTEET	32
LIITTEET	
Liite 1 Aikataulu	

SANASTO

2D-työstömenetelmä	työstömenetelmä, jossa työkalun liikkeet tapahtuvat XY-tasossa, esimerkiksi vesileikkaus tai yhden kiinnityksen jysintä
CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CAM	Computer Aided Manufacturing, tietokoneavustettu valmistaminen
CNC	Computerized Numerical Control, tietokoneistettu numeerinen ohjaus
G-koodi	matalan tason komentokieli työstökoneille
kollineaarisuus	pistejoukon ominaisuus, kun ne sijaitsevat samalla suoralla
MOSFET	Metal-oxide-semiconductor field-effect transistor, puolijohdekomponentti, jolla voidaan ohjata suurta jännitettä pienen jännitteen avulla
optoerotin	digitaalinen komponentti, jolla voidaan eristää kaksi jännitettä toisistaan
POM-muovi	polyasetaali, kulutusta kestävä muovilaatu
proof-of-concept	prototyypimalli, jonka tavoitteena on todistaa ratkaisujen toimivuus
TOP-DOWN-suunnittelu	CAD-suunnittelun muoto, jossa luodaan osia kokoonpanon sisällä viitaten sen muotoihin
VDC	Volts of Direct Current, tasajännitteen arvo
VDI-2222	standardi, systemaattisen suunnittelun menetöt

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehdään Pohjois-Suomen suurelle elintarvikejalostamolle. Toimeksiantajan pyynnöstä kaikkia projektin materiaaleja ei esitetä opinnäytetyöraportissa. Tarkemmat tiedot projektista ja prototyypistä luovutetaan ainoastaan toimeksiantajan käyttöön.

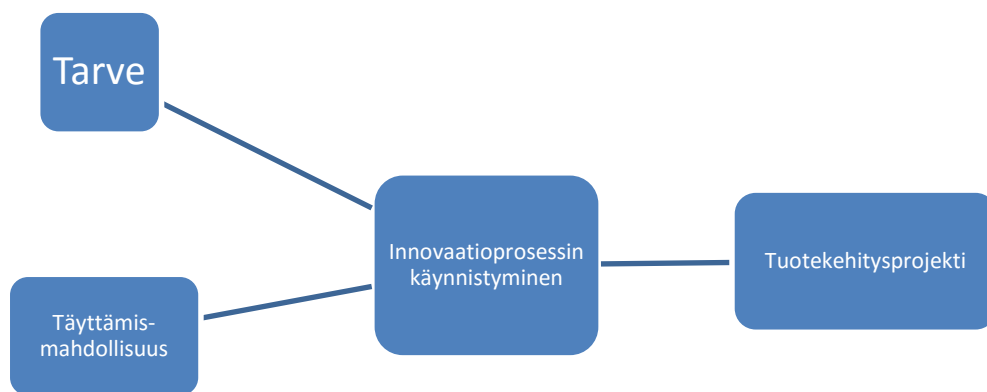
Tehtävänä on suunnitella laite ja todentaa sen toimivuus proof-of-concept-tasolla. Laite suunnitellaan käyttäen hyväksi systemaattisen konesuunnittelun standardia VDI-2222. Se suunnitellaan Solidworks-ohjelmistolla ja prototyyppi valmistetaan Oulun ammattikorkeakoulun laboratorioissa.

Toimeksiantajan tarve on saada laite, joka parantaa erään tuotteen laatua ja valmistustehokkuutta tehtaalla. Työn ensisijainen tavoite on vähentää käsityötä tehtaassa valmistuslinjassa. Toissijainen tavoite on saada laitteen tuotantokapasiteetti samalle tasolle siihen liitettävän pakkauskoneen kanssa. Tällä hetkellä käsityön määrä vaikeuttaa tuotteen tasaisen laadun ylläpitämistä. Tavoitteet ratkaistaan ja todennetaan yksityiskohtaisilla suunnitelmilla sekä prototyypillä laitteesta.

Laitteessa ongelmia tuottavat raaka-aineen muuttuvat ominaisuudet. Laitteelle syötettävien raaka-ainepalojen mitat ja koostumus vaihtelevat. Tämä ongelma on tärkein huomioitava asia laitteen suunnittelussa. Toinen ongelma on raaka-aineen liukkaus. Laitteen ja raaka-aineen keskilinjat tulee asettaa ja pitää kolli-nearisina koko valmistusprosessin ajan.

2 INNOVAATIOPROSESSI

Markkinoiden tarpeen tyydyttämiseksi tarvitaan aina innovaatio, joka ratkaisee tarpeen ongelman. Innovaatioita ovat esimerkiksi uusi tuote, jota ei ole ennen ollut, tai olemassa oleva laite, jonka valmistuskustannuksia on saatu pienennettyä innovaation avulla. (1, s. 78.) Kuvassa 1 on esitettyä innovaatioprosessiin tarvittavat raaka-aineet ja niistä muodostuva innovaatioprosessi tai tuotekehitysprojekti.



KUVA 1. Innovaatioprosessi vaatii tarpeen ja resursseja (1, s. 79)

Innovaatiot voidaan jakaa teknisiin ja yhteiskunnallisiin innovaatioihin. Teknisen innovaatioprosessin alkuresursseja tulee kartoittaa, jottei aikaa kulu valmiiksi keksittyihin ratkaisuihin. Teknisessä innovaatioprosessissa alkuresursseja on hyvin paljon, mikä yleensä nopeuttaa prosessia merkittävästi. (1, s. 78.)

Tuotekehitysprojektissa innovointi aloitetaan idean esikypsyttelyllä. Siinä tarvetta ja täyttämismahdollisuutta selvennetään. Sen jälkeen tehdään muodollinen esitutkimus, jossa hankitaan tarkempia tietoja tarpeesta ja mahdollisuuksista. Innovoinnissa on tärkeää huomioida, onko tarve oikeasti olemassa ja onko tarvetta mahdollista toteuttaa tämän hetkisin resursseilla. (1, s. 79–80.)

3 SYSTEMAATTINEN KONEENSUUNNITTELU

Tarpeiden ja mahdollisuuksien määrittämisen jälkeen on valittava, millä metodilla tuotekehitysprojekti aloitetaan. Tässä opinnäytetyössä käytettiin sovellettua systemaattista konesuunnittelumallia, joka pohjautuu standardiin VDI-2222. Standardi sisältää kaavioita ja taulukoita, joita lähteet 1, 2, 3 ja 4 ovat käyttäneet hyväksi materiaaleissaan. Tässä tuotekehitysprojektissa prosessi oli nelivaiheinen. Aluksi asiakkaan tarve spesifioitiin. Sen jälkeen esisuunnittelussa tarve pilkottiin osatoimintoihin ja kokonaistoimintoa luonnosteltiin. Esisuunnittelusta siirryttiin yksityiskohtaiseen suunnitteluun, jossa tehtiin konkreettisia ratkaisuja laitteen toimintoihin ja ulkomuotoon.

3.1 Tuotekehitysprojektin spesifiointi

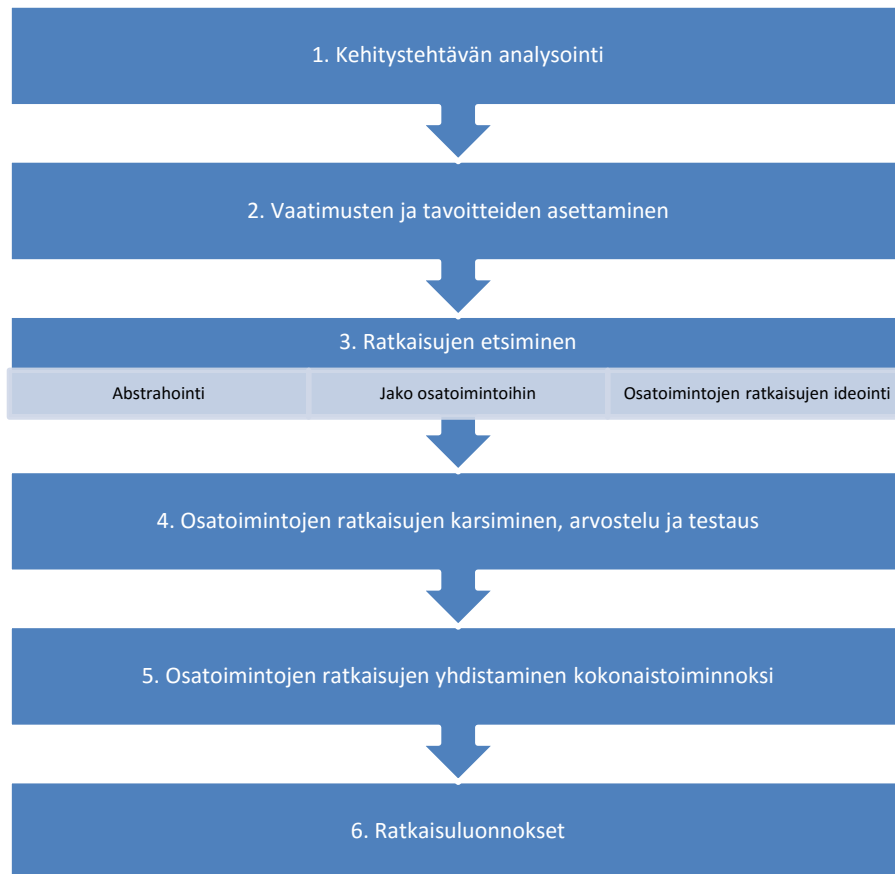
Tuotekehitysprojekti aloitetaan spesifioinnilla. Spesifiointi on asiakkaan ja yrityksen vaatimusten ja toiveiden lista. Se määrittää tuotekehitysprojektin suunnan ja toimii dokumenttina, josta voidaan tarkastella asiakkaan tarvetta. Listaa kutsutaan vaatimuslistaksi. (4, s. 37.) Vaatimuslista sisältää kolmenlaisia vaatimuksia:

- KV = kiinteä vaatimus, joka täytyy olla valmistettavassa tuotteessa
- VV = vähimmäisvaatimus, joka voidaan positiiviseen suuntaan ylittää
- T = toivomus, ominaisuus, joka toivotaan olevan tuotteessa. (4, s. 37–38.)

Vaatimuslistan kohdat täytyy väliotsikoida ja vaatimukset tulee esittää täsmällisesti ja laadullisesti (4, s. 37–38). Vaatimuslistan pohjalta voidaan kirjoittaa alustava tuotespesifikaatio, joka sisältää ainoastaan mitattavia arvoja. Se päivitetään projektin lopuksi, jolloin se sisältää tuotteen tarkat arvot. (5.)

3.2 Esisuunnitteluvaihe

Esisuunnittelu on monivaiheinen. Sen etapit on esitetty kuvassa 2, kohdasta 3 eteenpäin.



KUVA 2. Tuotekehitysprojektin spesifioinnin ja esisuunnittelun vaiheet (3, s. 22)

Ratkaisujen etsiminen aloitetaan tuotteen abstrahoinnilla (5). Tuotteen abstrahoinnin eli tuotteen toimintojen yleistämisen tarkoitus on luoda suunnittelijalle yleiskäsitys tuotteen toiminnasta. Tällä eliminoidaan kaikki tuotteen ennakkoratkaisut, jotka ovat syntyneet innovaatioprosessin aikana. (3, s. 30.)

Abstrahoinnin jälkeen tuotteen toiminnot jaetaan osatoimintoihin. Osatoiminnot tulee esittää muutamalla sanalla ja mahdollisimman yleisesti. Osatoimintojen tarkoitus ei ole kuvata, miten jotain tehdään, vaan mitä tehdään. (3. s. 31.)

Toimintojen jakamisen jälkeen ideoidaan eri ratkaisuja osatoiminnoille. Ratkaisut ovat konkreettisia kuvauksia siitä, mitä tulee tehdä. Ratkaisujen määrä on

ratkaiseva lopullisen tuotteen toimivuuden kannalta. Ideointiin on olemassa menetelmiä, jotka jaetaan kahteen pääryhmään, intuitiivisiin tai diskursiivisiin menetelmiin. (3. s. 39.)

Opinnäytetyössä käytettiin diskursiivista eli systemaattista ideointimenetelmää. Siinä ideoita yhdistellään eri kokonaisuuksiksi ja niitä arvioidaan eri menetelmin. Apuvälineenä opinnäytetyössä käytettiin morfologista taulukkoa. Raakamalli taulukosta on esitetty taulukossa 1. (3. s. 39.)

TAULUKKO 1. Esimerkki morfologisesta taulukosta (5)

	Ratkaisu 1	Ratkaisu 2	Ratkaisu 3	Ratkaisu 4
Osatoiminto 1	1	2	3	4
Osatoiminto 2	2	3	1	4
Osatoiminto 3	3	1	2	4

Morfologinen taulukko täytetään ratkaisuideoilla, ja kun ideointiin määrätty aika on täynnä, aletaan yhdistellä ratkaisuja kokonaistoiminnoiksi. Tässä prosessissa valitaan aina yhteen osatoimintoon yksi ratkaisu. Taulukossa 1 numerot kuvaavat yhtä kokonaistoimintoa, eli kokonaistoimintoja on syntynyt neljä. Kokonaistoimintoja täytyy luoda harkiten, koska morfologinen taulukko tuottaa yleensä liikaa erilaisia kokonaistoimintoja. Optimaalinen ratkaisujen määrä on 3–4. (4, s. 98.)

Taulukon 1 esimerkin tapauksessa erilaisia kokonaistoimintoja voidaan tehdä 81. Mitä enemmän osatoiminnoille löytyy yksilöllisiä ratkaisuja, sitä enemmän saadaan luotua mahdollisia kokonaisratkaisuja valmistettavalle tuotteelle. (5.)

Parhaan kokonaistoiminnon valitseminen on hankalaa ja siihen panostaminen on tärkeää. Valinta voidaan jakaa kahteen osaan, karkeaan arvosteluun ja painoarvotaulukkoon. Karkeassa arvostelussa tarkastellaan erilaisia arviointiperusteita kyllä–ei-periaatteella. Arviointiperusteita voivat olla esimerkiksi

- tehtävän asetuksen vastaaminen
- vaatimuslistan täyttäminen
- kohtuulliset kustannukset. (3, s. 76–77.)

Arviointiperusteista luodaan taulukko, jossa vaakarivillä ovat perustee, sekä päätös ja pystyrivillä kokonaistoiminnot. Taulukko on esitettyä kuvassa 3. Perusteita arvioidaan +, -, ! ja ? -merkeillä. (3, s. 76–77.)

Ratkaisuvaihtoehdot	Arvosteluperusteet							Huomautuksia (ohjeita, perusteluja)	Päätös
	A Vastaa tehtävän asetusta	B Täyttää vaatimuslistan	C Toteuttamiskelpoisuus hyvä	D Kustannukset kohtuulliset	E Täyttää välittömät turvallisuus vaatimukset	F Soveltuu omaan alaan	G Muuta		
1	+	+	+	?	+	+		D: Lukuisat anturit nostavat hintaa	?
2	+	-						B: Hyötysuhde liian pieni	-
3	+	+	+	+	+	+			+
4	-	-							-
5	+	!	+	+	+	+		B: Vaatimuslista tasapainoton ?	!
6	+	+	+	-					-
7	-	-							-
8	+	+	-						-
9	+	+	+	+	+	?		F: Tekninen tieto riittämätön ?	?
10	-	-							-
11	+	+	+	+	+				+
12	+	+	+	-					-

KUVA 3. Karkean arvostelun taulukko, jossa 12 ratkaisuvaihtoehtoa (3, s. 77)

Taulukon merkkien selitykset ovat + = kyllä, - = ei, ! = vaatimuslista tarkastettava ja ? = hankittava lisää informaatiota. Päätöskohta täytetään sen mukaan, mitä merkkiä on rivillä käytetty eniten. Huuto- ja kysymysmerkit automaattisesti

hylkäävät kohdan. Taulukkoa päivitetään niin kauan, ettei siinä ole huuto- tai kysymysmerkkejä. (3, s. 76–77.) Taulukosta valitaan kaikki plusmerkkiset päätökset ja siirrytään painoarvotaulukkoon.

Painoarvotaulukossa ratkaistaan, mikä kokonaistoiminto valitaan toteutettavaksi. Taulukkoon valitaan tuotteen kannalta tärkeitä kriteerejä. Jokainen kokonaistoiminto arvostellaan kriteerikohtaisesti pisteillä. Koska asetetut vaatimukset ja tavoitteet eroavat toisistaan kokonaistoimintojen erilaisuuden takia, painotetaan pisteytys kertoimilla. Kertoimien summa on yleensä yksi kriteerien välillä. Kun painoarvotaulukko on täytetty, suurin pistemäärä valitaan tuotekehitysprojektin yksityiskohtaiseen suunnitteluun. Esimerkki painoarvotaulukosta on kuvassa 4. Siinä loppuvaiheeseen pääsee ratkaisu 2. (3, s. 78.)

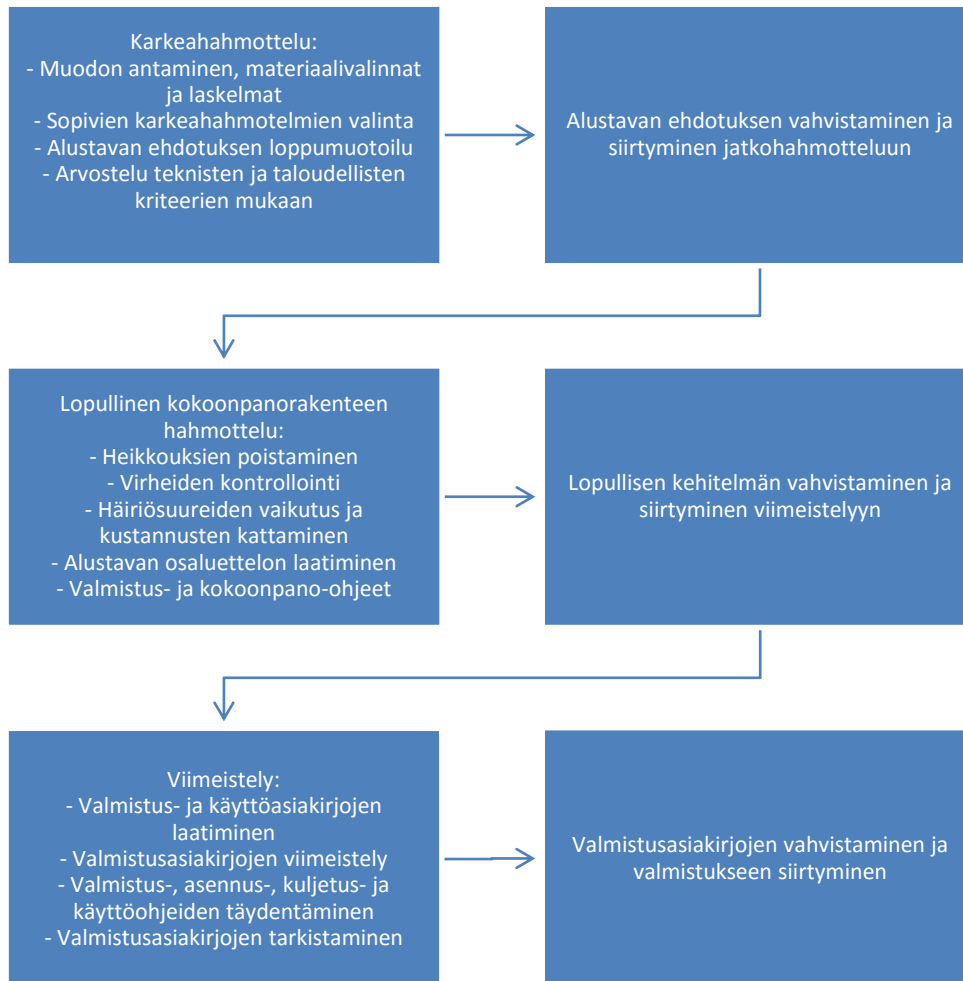
Arvostelukriteerio	Painoarvo	Ratkaisu 1			Ratkaisu 2			Ratkaisu 3		
		Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet
Ylikuormitettavuus	0,15	1,5	3	0,45	1,2	2	0,30	2,0	4	0,60
Hyötysuhde	0,05	0,80	2	0,10	0,90	3	0,15	0,95	4	0,20
Paino (kg / kW)	0,15	1,7	3	0,45	2,7	2	0,30	1,5	4	0,60
Osien lukumäärä	0,05	suuri	1	0,05	pieni	3	0,15	keskinkert.	2	0,10
Ergonomia	0,05	hyvä	3	0,15	hyvä	3	0,15	hyvä	3	0,15
Turvallisuus	0,05	hyvä	3	0,15	hyvä	3	0,15	eritt. hyvä	4	0,20
Valmistus	0,05	helppo	3	0,15	helppo	3	0,15	vaikea	1	0,05
Asennus	0,10	vaikea	1	0,10	helppo	3	0,30	vaikea	1	0,10
Elinikä (vuosia)	0,05	7	1	0,05	15	3	0,15	20	4	0,20
Huollon määrä	0,10	kohtalainen	2	0,20	pieni	3	0,30	pieni	3	0,30
Valmistushinta	0,10	20.000	3	0,30	15.000	4	0,40	25.000	1	0,10
Kehityskustannukset	0,05	pienet	3	0,15	pienet	3	0,15	kohtalaiset	2	0,10
Toimitusaikariski	0,05	ei	4	0,20	ei	4	0,20	on	2	0,10
Yhteensä	1,0		32	2,50		39	2,85		35	2,80

KUVA 4. Painoarvotaulukko kolmella ratkaisuvaihtoehdolla (3, s. 79)

Valitusta kokonaistoiminnosta tehdään mittakaava luonnos, jossa ilmenee laitteen ulkomuoto ja toiminnot yhtenä kokonaisuutena. Luonnoksessa voi olla tekstiä auttamassa ymmärtämään eri osien tarkoitus. Luonnokseen ei tule käyttää paljoa aikaa. (4, s. 98.)

3.3 Yksityiskohtainen suunnittelu

Yksityiskohtainen suunnittelu sisältää kaikki ne vaiheet, joita lopullinen tuote tulee tarvitsemaan. Vaiheet on esitetty kuvassa 5. (2, s. 51.)



KUVA 5. Yksityiskohtaisen suunnittelun vaiheet (2, s. 51)

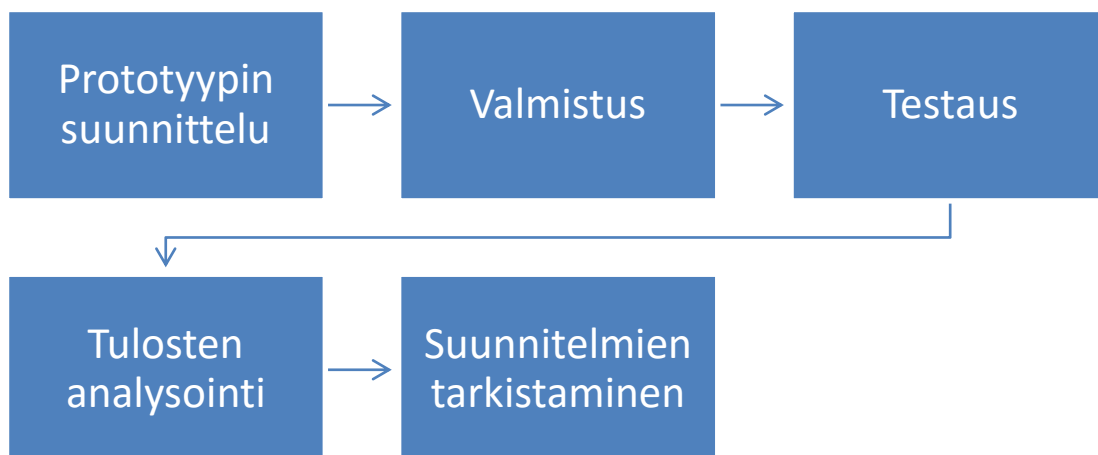
Yksityiskohtaisessa suunnittelussa harvoin päästään lopulliseen tuotteeseen ensimmäisillä suunnitelmilla, vaan niitä joudutaan päivittämään ja testaamaan suunnitteluprosessin aikana. Suunnitteluvaiheen loppuksi ne testataan teknis-taloudellisella arvostelulla, joka tutkii suunnitelmien edullisuutta ja toimivuutta. Tällä arvostelulla saadaan selville valitun kokonaistoiminnon heikkouksia, joita lähdetään parantamaan lopullisessa kokoonpanorakenteen hahmottelussa ennen viimeistelyvaihetta. (2, s. 49.)

Viimeistelyvaiheessa tuotteen kokoonpanorakenteeseen päivitetään kaikki tarvittavat määräykset, tutkitaan tuotteen valmistettavuutta ja tarkistetaan lopulliset kustannukset. Projektin dokumentointi saatetaan päätökseen ja tarkistuksen jälkeen hyväksytään. (2, s. 50.)

Viimeistelyvaihe on yhtä tärkeä kuin muutkin tuotekehitysprojektin vaiheet. Siinä tarkastellaan asioita yksityiskohtaisella tasolla ja sieltä löytyvät virheet ovat tärkeitä lopullisen tuotteen kannalta. Viimeistelyvaihe vaatii projektijohtolta tarkkaavaisuutta, jottei yksityiskohtien virheitä pääse lopulliseen tuotteeseen. Viimeistelyvaiheen jälkeen tuote on valmis siirtymään valmistukseen. (2, s. 50.)

3.4 Prototyypin valmistus tuotekehitysprojektissa

Prototyypin valmistaminen muuttaa systemaattisen konesuunnittelun järjestystä. Jos se valmistetaan, ei kaikkia työvaiheita tehdä aivan loppuun saakka, vaan alustavat suunnitelmat todennetaan prototyypin avulla. Prototyypin tulosten avulla päivitetään dokumentointia yksityiskohtaisessa suunnittelu- ja viimeistelyvaiheessa. Prototyypivaiheen esimerkkietapit ovat esiteltynä kuvassa 6. (3, s. 98.)



KUVA 6. Prototyypivaiheen etapit (3, s. 98)

Erilaiset prototyypit voidaan jakaa esimerkiksi viiteen kategoriaan:

- proof-of-concept-prototyyppi
- form study -prototyyppi
- user Experience -prototyyppi

- visual-prototyyppi
- functional-prototyyppi.

Proof-of-consept-prototyypissä testataan kokonaistoiminnosta pelkkiä toimintoja, keskittymättä laitteen ulkonäköön, turvallisuuteen, ergonomiaan tai muuhun sellaiseen. Toimintoja voidaan testata erillisillä osatoimintoja vastaavilla prototyypeillä tai yhdellä kokonaisuudella. Proof-of-consept-tyylisen prototyypin tuloksena ovat todisteet siitä, että suunnitellun tuotteen ratkaisut toimivat käytännössä. (6, s. 491.)

Opinnäytetyössä tehtiin proof-of-consept-prototyyppi, koska sillä saatiin nopeasti konkreettisia tuloksia toimeksiantajalle. Opinnäytetyön tuotekehitysprojektissa ei ollut tarkoituksena tehdä lopullista tuotetta, vaan todentaa suunnitelmien ratkaisut.

4 OPINNÄYTETYÖPROJEKTIN SUUNNITTELU

Opinnäytetyöprojekti suunniteltiin systemaattisen konesuunnittelun ohjeiden mukaan. Suunnittelu aloitettiin projektin määrittelyllä. Määrittelyssä päätettiin, että projektin ensisijainen tavoite oli vähentää käsityötä tehtaan eräässä valmistuslinjassa. Toissijainen tavoite oli saada laitteen tuotantokapasiteetti samalle tasolle siihen liitettävän pakkauskoneen kanssa. Tavoitteet tuli täyttää tekemällä yksityiskohtaiset suunnitelmat laitteesta ja todentamalla suunnitelmat prototyypillä. Määrittelyssä huomioitiin, että prototyyppi voi olla proof-of-concept-prototyyppi.

Projektiorganisaatioon kuuluivat opinnäytetyön ohjaava opettaja Timo Väyrynen, toimeksiantajan yhteyshenkilö sekä projektipäällikkö Lassi Kaivosoja. Organisaation sidosryhmiin kuului Oulun ammattikorkeakoulun koneosaston henkilökuntaa.

Projekti jaettiin viiteen etappiin. Kuvien 1, 2 ja 3 etappeja sovellettiin ja niistä tehtiin liitteen 2 aikataulu. Projektin etappeja olivat

- M0, projektin suunnittelu
- M1, esisuunnittelu
- M2, yksityiskohtainen suunnittelu
- M3, prototyypin ja CAD-mallin tekeminen
- M4, projektin päättäminen.

Projektia ohjattiin etappien välissä olevilla kokouksilla, joissa katsottiin projektin tilanne, hyväksyttiin etapin raportti ja keskusteltiin projektin jatkosta. Kokouksista kirjoitettiin esityslistat ja muistiot. Kiireellisissä asioissa sovittiin erillisiä palaveriteita.

Näiden tietojen pohjalta kirjoitettiin projektisuunnitelma, joka hyväksytettiin toimeksiantajalla. Sen jälkeen aloitettiin projektin esisuunnitteluvaihe.

5 LAITTEEN SUUNNITTELUVAIHEIDEN TOTEUTUS

Laitteen suunnitteluvaihe jaettiin esisuunnitteluun ja yksityiskohtaiseen suunnitteluun. Esisuunnitteluvaiheessa paneuduttiin toimeksiantajan asettamaan ongelmaan ja pohdittiin, mitkä ovat laitteen toiminnot ja mitä ratkaisuja laitteessa kannattaisi käyttää. Yksityiskohtaisessa suunnittelussa tehtiin konkreettisia käytännön ratkaisuja laitteen muodon, materiaalien, valmistusmetodien ja komponenttien suhteen.

Ennen suunnitteluvaiheiden aloittamista tutkittiin projektin tarpeita ja resursseja innovaatioprosessin menetelmin. Tarve tuli suoraan toimeksiantajalta. Se oli todennetut suunnitelmat laitteesta, jolla erään valmistuslinjan käsityön määrää saatiin vähennettyä. Lisäksi laitteen toivottiin lisäävän valmistuslinjan tuotantokapasiteettia.

Päätettiin, että laitteen suunnitelmat todennetaan prototyypin avulla, koska sillä käsiteltävän raaka-aineen ominaisuudet olivat haastavat. Prototyypin valmistamiseen tarvittavia resursseja tutkittiin Oulun ammattikorkeakoulun laboratorioista ja toimeksiantajan varastoista. Toimeksiantajalla oli olemassa komponenttivarasto, josta oli mahdollista saada osia lainaan. Koulun tiloissa varmistettiin, että kaikki tarpeelliset työstökoneet olivat käytettävissä ja tarvittavat materiaalit löytyivät varastosta. Kun tarve oli selvillä ja resurssien olemassaolo varmistettu, voitiin tuotekehitysprojekti aloittaa.

5.1 Esisuunnittelu

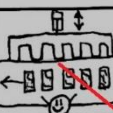
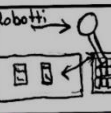
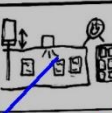
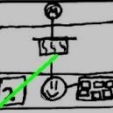
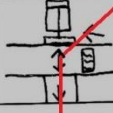

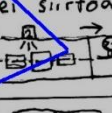
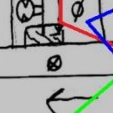

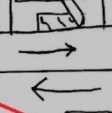



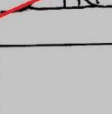

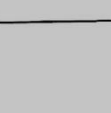
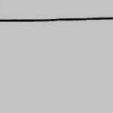
Esisuunnittelun aluksi päätoiminto abstrahoitui: päätoiminto on materiaaalipalan koneellistettu leikkaaminen keskeltä melkein pohjaan asti ja leikkuupintojen aukaisu 180 asteen kulmaan. Abstrahoinnin pohjalta luonnosteltiin osatoiminnot: syöttäminen, mittaaminen, siirto leikkuulinjalle, leikkaus, avaaminen, pakkaus. Osatoiminnoista tehtiin morfologinen taulukko, jossa keksittiin jokaiselle osatoiminnoille ratkaisuja. Morfologinen taulukko on kuvassa 7. Taulukko täytettiin yksinkertaisilla piirroksilla, koska pelkkä teksti morfologisessa taulukossa ei anna tarkkaa kuvaa ratkaisusta, vaan sen lisäksi joudutaan kirjoittamaan tarkempi seloste ratkaisusta.

Opinnäytetyö: Lassi Kaivosoja

Projekti:

Viimeisin muokkaus: 5.6.2015

Morfologinen taulukko

Ratkaisuvaihtoehdot		1	2	3	4
Osatoiminnot					
1	Syöttäminen laitteelle				
2	Mittaus	Kamera (kontrasti-ero)	Kuitu-anturi	Laser-anturi	Kaksi valoanturia
3	Siirto leikkuulinjalle				
4	Leikkaus				
5	Avaaminen				
6	Pakkaus				

KUVA 7. Morfologinen taulukko, jossa kokonaistoiminnot ovat esiteltynä viivoilla

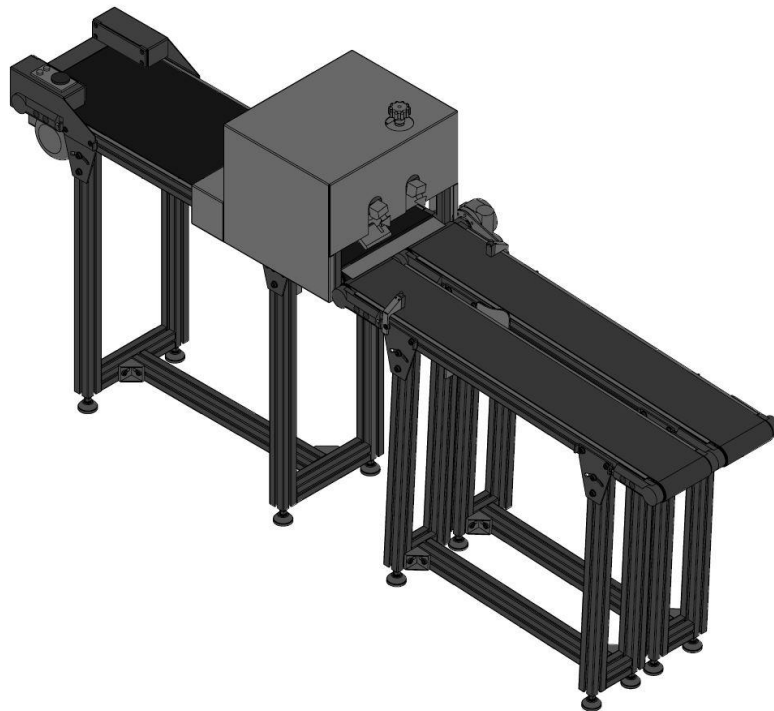
Ratkaisut järjestettiin testaamisen kannalta helpoiten toteutettavaan järjestykseen ja niistä hahmoteltiin kokonaistoiminnot: 1 (kuva 7, punainen viiva), 2 (kuva 7, sininen viiva) ja 3 (kuva 7, vihreä viiva). Kokonaistoiminnot ovat esiteltynä kuvassa 7 viivoin, jotka kulkevat valittujen ratkaisujen kautta. Taulukon vaakarivillä ovat ratkaisut ja pystyrivillä osatoiminnot.

Kokonaistoimintoja tutkittiin esisuunnitteluvaiheen kokouksessa ja niistä valittiin paras. Valinta suoritettiin kartoittamalla kirjallisesti kokonaistoimintojen hyvät ja huonot puolet. Ne kirjattiin muistioon ja sen avulla pystyttiin päättämään par-

hain ratkaisu. Ratkaisusta poistettiin kaikki huonot piirteet ja ne korvattiin muiden ratkaisujen vastaavilla hyvillä piirteillä. Näin saatiin luotua mahdollisimman hyvä kokonaistoiminto projektia varten. Karkean arvioinnin taulukkoa tai pisteytystaulukkoa ei kokouksessa käytetty. Valitussa kokonaisuudessa kaikki osatoiminnot sijaitsivat peräkkäin kuljettimella. Osatoiminnoista mittausta hylättiin ja se korvattiin mekaniikalla, joka keskitti materiaaalipalan kuljettimessa. Valitusta kokonaistoiminnosta piirrettiin mittakaavaaluonnos, joka sivusi laitteen lopullisia suunnitelmia. Kokouksen jälkeen aloitettiin projektin yksityiskohtainen suunnittelu.

5.2 Yksityiskohtainen suunnittelu

Yksityiskohtaisessa suunnittelussa työ aloitettiin komponenttien alustavalla valinnalla ja niihin sisältyvien valintalaskelmien laskemisella. Kun komponentit olivat valittuna, voitiin aloittaa laitteen tarkempi suunnittelu. CAD-suunnittelussa käytettiin TOP-DOWN-suunnittelumetodia. Vakiokomponenttien mittojen perusteella luodut osat olivat varmasti oikean kokoisia ja valmistettavuutta voitiin pitää aktiivisesti silmällä. Valmistuspiirustukset tehtiin prototyypin valmistuksen ohessa. Suunnittelun lopullinen tulos on kuvassa 8.



KUVA 8. Laitteen lopullinen CAD-malli

Kun laitteen ensimmäinen versio oli valmiina, aloitettiin prototyypin ohjausjärjestelmän suunnittelu. Se suunniteltiin Arduino MEGA -mikrokontrollerin pohjalle. Arduino MEGA on 8-bittinen avoimeen lähdekoodiin perustuva ohjelmointialusta, ja se sopii ihanteellisesti prototyyppien valmistukseen edullisuutensa ansiosta (7).

Koska käyttölaitteiden jännite oli +24VDC ja Arduinon maksimijännite +5VDC, suunniteltiin Arduinon ja laitteen välille elektroniikkaa muuntamaan sen signaali Arduinolle ja Arduinon signaali laitteelle. Tätä ohjausjärjestelmää ei tulla hyödyntämään lopullisessa laitteessa. Lopullisessa laitteen versiossa tullaan käyttämään mikrokontrollerin sijaan ohjelmoitavaa logiikkaohjainta. Logiikkaohjaimet ovat käytetympiä tehtäisiin suunnitelluissa koneissa.

Ohjausjärjestelmän toiminnasta kirjoitettiin yksityiskohtaiset selostukset, miten laitteen tulisi toimia. Sen pohjalta seuraavan suunnittelijan on helppo tehdä virallinen ohjausjärjestelmä. Toimeksiantajan pyynnöstä tarkkaa kuvausta lopullisen laitteen ohjausjärjestelmästä ei kerrota tässä opinnäytetyössä.

Turvallisuus huomioitiin laitteen suunnittelussa, mutta ei prototyypissä. Laitteeseen suunniteltiin hätäpysäytyspainikkeiden paikat ja laitteen vaaralliset kohdat koteloitiin. Kuljettimien moottorit sijaitsivat paikoilla, joissa liikkuvat osat olivat työntekijän ulottumattomissa. Laitteen päätoiminnot oli koteloitu siten, että työntekijä ei vahingossa voi koskea liikkuviin osiin tai leikkuuterään. Terän korkeusäättö tapahtui kotelon ulkopuolella olevasta rullasta. Laitteen lopulliset suunnitelmat eivät kuitenkaan vielä täytä konedirektiivin turvallisuusmääräyksiä, vaan turvallisuuskartoitusta jatketaan jatkoprojekteissa.

Laitteen ergonomisuus perustui SFS-EN 1005-4+A1 -standardiin (8). Lähtökoh-tana oli 800 mm työkorkeus. Suunnittelussa arvioitiin ergonomisuutta vartalon eteen- ja taaksepäin taivutuksen, sivuttaistaivutuksen ja kiertymän suhteen sekä olkavarren kohtisuoraa ja sivuttaista asentoa. Jokaisella tapauksella oli määräraajat, jotka olivat pisteytetty. Kun pisteet oli tarkastettu, arvioitiin ergono-misuutta liike kerrallaan. Laitteen ergonomiasta tehtiin taulukko 2, joka sisälsi pisteytyksen.

TAULUKKO 2. Ergonomiatarkastelun pisteytys

	Eteen- taaksepäin taivutus	Sivuttais- taivutus	Kiertymä	Kohtisuora asento	Sivuttainen asento
1	x	x			x
2			x	x	
3					
4					

Kaikki kohdat, paitsi kiertymät läpäisivät standardin määitykset. Kiertymän aiheuttama ongelma voidaan kuitenkin korjata työntekijän ohjeistuksella. Työntekijän ei tarvitse seisoa kohtisuorassa koneeseen nähden, vaan hän voi olla parinkymmenen asteen kulmassa, jolloin kiertymää ei tule lainkaan vaan olkavarsi tekee tarvittavan liikkeen. Tämä muutos pudottaa sivuttaisen olkavarren asennon luokkaan 2, joka on myös hyväksyttävä. Ergonomiatarkastelua jatketaan jatkoprojekteissa, koska laitteen rakenne tulee muuttumaan.

Yksityiskohtaista suunnittelua jatkettiin prototyypivaiheessa, koska prototyypin rakentamisessa ja testaamisessa selveni monia parannettavia asioita. Prototyypissä todennetut ratkaisut päivitettiin laitteen lopullisiin suunnitelmiin projektin loppuvaiheessa. Valmis CAD-malli on esitetty kuvassa 8.

6 PROTOTYYPIN TOTEUTUS

Prototyyppi rakennettiin testaamaan esisuunnittelun ja yksityiskohtaisen suunnittelun tuloksia. Se rakennettiin Oulun ammattikorkeakoulun laboratoriotiloissa. Komponentteja siihen lainattiin toimeksiantajalta ja koululta. Laite rakennettiin pienellä budjetilla ja rahaa siihen käytettiin enintään 1 000 euroa. Kalleimmat komponentit voitiin valmistaa koulun laitteilla, mikä säästi satoja euroja. Koska prototyyppi oli proof-of-concept-tyylinen, ei sen ulkonäköön, turvallisuuteen tai kestävyys kiinnitetty erityistä huomiota. Ulkopuolisten turvallisuus huomioitiin eristämällä laitteen ympärys. Prototyyppiä testattiin monta kertaa, jolloin varmistettiin vikojen löytyminen tarpeeksi ajoissa.

6.1 Valmiiden komponenttien ja käytettävien materiaalien valinta

Komponenttien valinta oli monivaiheinen prosessi. Ensimmäisessä vaiheessa mahdollisia komponentteja hahmoteltiin morfologisessa taulukossa, jonka pohjalta saatiin luotua lista eri komponenteista. Seuraavassa vaiheessa parhain kokonaistoiminto oli valittuna ja prototyypin ulkomuoto oli hahmoteltu. Tässä vaiheessa pystyttiin valitsemaan prototyyppiin tarvittavat komponentit.

CAD-mallin suunnitteluvaiheessa pystyttiin mitoittamaan komponentit ja tekemään lopulliset valinnat. Komponenttien hinta-arvioita kysyttiin eri yrityksiltä ja ne annettiin eteenpäin Oulun ammattikorkeakoulun koneosaston johtaja Eero Korhoselle, joka päätti komponenttien ostamisesta. Tarvittavat komponentit tilattiin pienimmän hinta-arvion tarjonneelta yritykseltä.

Prototyypin materiaalien valintakriteeri oli niiden työstettävyys. Prototyyppissä vältettiin lujia teräksiä ja ruostumatonta terästä niiden hankalan työstettävyyden takia. Kaikki koneistettavat osat valmistettiin alumiinista tai muovista. Rungot ja tukirakenteet tehtiin joko alumiiniprofiilista tai hitsaamalla teräksisestä neliöputkesta.

6.2 Osien valmistaminen ja kokoonpano

Prototyypin valmistettavuutta analysointiin koulun laboratoriotiloissa olevien koneiden valmistusmahdollisuuksien kannalta. Osien suunnittelussa pyrittiin saamaan valmiita osia 2D-työstömenetelmillä. Menetelmällä saatiin kokoonpanoon osia pelkästään vesileikkaamalla. Osa osista jouduttiin valmistamaan muilla menetelmillä. Näitä olivat esimerkiksi 3D-tulostaminen ja koneistaminen HAAS-koneistuskeskuksella.

Koneistamisessa tehtiin aluksi CAM-ohjelma CAD-mallin pohjalta. CAM-ohjelma sisälsi kappaleen valmistuksen työstöradat ja niistä tehdyn g-koodin. G-koodi siirrettiin koneistuskeskukselle, aihio kiinnitettiin kiinnittimeen ja aihion nollapiste määritettiin koneistuskeskukselle. Tämän jälkeen ohjelma ajettiin läpi, minkä jälkeen valmistetun osan tärkeät mitat mitattiin. Jos osassa oli korjattavaa, kopioitiin CAM-ohjelmasta väärän mitan työstöradat ja niiden pohjalta tehtiin uusi ohjelma. Uuteen ohjelmaan suurennettiin esimerkiksi reiän kompensointia virheen verran. Uuden ohjelman g-koodi siirrettiin koneistuskeskukselle ja korjausajo ajettiin läpi. Virheitä voitiin korjata ainoastaan liian pienissä mitoissa. Koneistuskeskuksella tehtiin johteiden kiinnikkeitä ja suurien pintojen plaanauksia.

Osa osista valmistettiin manuaalityöstökoneilla, kuten sorvilla ja jyrsimellä. Koneistuskeskus oli usein käytössä, joten yksinkertaisempien osien valmistus oli nopeampaa tehdä manuaalityöstökoneilla. Manuaalikoneilla eniten aikaa kului valmistettavuuden suunnitteluun. Siinä täytyi ottaa huomioon koulun terävalikoima ja niiden lastuamissyvyyydet. Piirustuksissa täytyi olla kaikki tarvittavat mitat ja puuttuvat mitat hidastivat työn tekoa.

Prototyypin kokoonpano tehtiin soveltaen esisuunnittelun osatoimintoja. Kokoonpanoja tehtiin kolme: kuljetin, keskitys ja leikkaus sekä avaus. Valmiiden kokoonpanojen toimivuus testattiin erikseen. Lopuksi kokoonpanot yhdistettiin yhdeksi kokonaisuudeksi. Valmiille prototyypille alettiin tekemään ohjausjärjestelmää.

6.3 Prototyypin ohjausjärjestelmä

Prototyypin ohjausjärjestelmä koostui Arduino MEGA -mikrokontrollerista, signaalinmuuntoelektronikasta ja käyttöpainikkeista. Signaalinmuuntoelektronikka mahdollisti Arduinon yhteensopivuuden +24VDC:n käyttölaitteille ja antureille. Käyttölaitteita ohjattiin Arduinolla MOSFET-transistorin avulla ja antureita luettiin optoerottimien avulla. Elektronikka koottiin muutamalle piirilevylle. Käyttöpainikkeita olivat käynnistys-, kuljettimen käynnistys- sekä nollauspainike. Käyttöjännite prototyypille otettiin kahdesta säädettävästä virtalähteestä.

Koodi Arduinolle tehtiin Arduino IDE -ohjelmalla. Ohjelma käyttää C++ ja C-kielen yhdisteltyä muotoa ja se sisältää valmiita koodikirjastoja, joita voi sisällyttää omaan koodiin. Koodaaminen aloitettiin kuljettimen ohjauksella, jonka jälkeen koodattiin keskitys. Leikkaus ja avaus vaativat hyvin vähän koodaamista niiden yksinkertaisen toiminnan takia. Keskityksen koodissa käytettiin valmiita kirjastoja askelmoottoreiden ohjaamiseen. Kun kaikki koodin osat olivat valmiina ja ne oli yksilöllisesti testattu, voitiin ne yhdistää yhdeksi koodiksi. Tämä koodi ohjasi prototyyppiä täysin automaattisesti.

6.4 Prototyypin testaaminen

Prototyypin toimintoja testattiin rakentamisen aikana, jotta kaikki yhteensopivuusongelmat tai mittavirheet tulisivat esille mahdollisimman aikaisin. Koko laitetta testattiin kolmessa osassa.

Ensimmäisessä testissä tehtiin laitteelle kappaleenkäsittelytestejä testikappaleilla, jotka oli valmistettu uretaanista. Testauksen ideana oli tutkia, missä sijaitsevat laitteen jumikohdat ja millä nopeudella kappaleiden tulisi liikkua koneessa. Näiden testauksien pohjalta tehtiin muutoksia keskittäjän vastinpaloihin ja muokattiin koodissa askelmoottoreiden nopeutta hitaammaksi. Testillä huomattiin, että keskittäjien nopeus ei tarvitse olla suuri, vaikka kuljettimen nopeus olisikin suuri.

Testillä saatiin myös selville leikkuuterän aiheuttama suuri tangentiaalivoima. Testikappale lensi laitteesta ulos, kun se oli ohittanut leikkauspisteen. Ongelmaa yritettiin korjata kuljettimen ja leikkuuterän säädöillä, mutta niistä ei ollut

hyötyä. Testikappaletta muokattiin niin, että sen paino oli 200 g ja sen ulkomuoto vastasi käytettävää raaka-ainepalaa. Painotetulla testipalalla testaus onnistui paremmin, eikä se enää lentänyt pois laitteesta.

Testissä 2 testattiin koneen leikkaus- ja avaustoimintoa painotetulla testipalalla. Tässä vaiheessa koneen ohjausjärjestelmä ohjasi laitetta täysin automaattisesti. Testipala syötettiin koneeseen ja tarkasteltiin, miten kone leikkaa uretaanisen testipalan ja miten koneen avaustoiminto avaa palan pinnat. Testeissä selvisi, että painotettu testipala toimi täydellisesti koneessa. Keskittäjä keskitti testipalan terälle 5 mm:n tarkkuudella, eikä terä heittänyt sitä pois kuljettimelta. Avaustoimintoon rakennettiin liuska, joka ohjasi testipalan avauslevylle. Muuten avaustoiminto toimi moitteettomasti.

Kun laitetta oli testattu, saatiin selville vesihuuhtelun tärkeys laitteessa. Ilman sitä raaka-aineesta irtoava lima olisi aiheuttanut liikaa kitkaa leikkuuterään. Laitteen suunnittelussa huomioitiin vesisuihkujen ja puhdistusrullien tarve ja niille suunniteltiin sopivat paikat.

Lopullinen testaus tehtiin varsinaisella raaka-aineella. Siinä kiinnitettiin huomiota prototyypin toimintaan kokonaisuutena ja sen valmistaman tuotteen laatuun. Testauksessa ilmeni ongelmia raaka-aineen paikallaan pysymisessä, koska raaka-aine ei ollut jäykkää ainetta. Myös leikkuuterä aiheutti ongelmia testauksessa. Ongelmia alettiin ratkaisemaan tekemällä leikkuuterien molemmille puolille paremmat painimet, joiden tarkoituksena oli pitää raaka-aine kiinni kuljettimessa.

Uudet painimet toimivat, koska ne ulottuivat leikkuuterän etupuolelta takaosaan saakka. Painimien päivityksellä saatiin myös paikoitusongelma ratkaistua, koska leikkuri ei enää aiheuttanut haitallista tangentiaalivoimaa. Loput ongelmista laitettiin vesisuihkun puutteen syyksi, eikä niitä alettu korjaamaan prototyypissä. Nämä testauksessa tulleet ongelmat otettiin huomioon laitteen lopullisissa suunnitelmissa. Loppuvaiheen testaus toimi myös prototyypin esittelynä toimeksiantajalle. Toimeksiantaja hyväksyi prototyypin esittelyn lopuksi.

7 TUOTEKEHITYSPROJEKTIN TULOKSET

Työn ensisijainen tavoite oli vähentää käsityötä tehtaan eräässä valmistuslinjassa. Toissijainen tavoite oli saada laitteen tuotantokapasiteetti samalle tasolle siihen liitettävän pakkauskoneen kanssa

Tuotekehitysprojektin tavoitteena oli suunnitella laite, joka vähensi käsityötä toimeksiantajan tehtaan valmistuslinjassa. Toissijaisena tavoitteena oli saada suunniteltavan laitteen tuotantokapasiteetti samalle tasolle pakkauskoneen kanssa. Laitteen suunnitelmat täytyi todentaa vapaavalintaisella keinolla. Suunnitelmista luotiin CAD-malli sekä suunnitteludokumentit, jotka sisälsivät tarkempaa tietoa suunnittelun tuloksista. Todentamiskeinoksi valittiin proof-of-concept-tyylinen prototyyppi.

Esisuunnitteluvaiheessa luotiin parhain mahdollinen kokonaistoiminto laitteesta. Se koostui kuudesta osatoiminnosta, joista yksi hylättiin toteuttamisvaikeuksien vuoksi. Parhain kokonaistoiminto valittiin kolmesta muusta, jotka oli muodostettu morfologisen taulukon avulla. Hylätyt kokonaistoiminnot olivat liian monimutkaisia ja niissä oli ongelmia, joihin ei keksitty ratkaisua. Esimerkiksi monen raaka-ainepalan syöttäminen yhtä aikaa kuljettimelle johti käyttölaitteiden maksiminopeuden ylittämiseen. Tarvittavia komponentteja ei löytynyt koululta ongelmien ylittämiseen. Parhaimmassa kokonaistoiminnossa raaka-aine kulki yhteen suuntaan ja osatoiminnot sijaitsivat peräkkäin. Kuljettimen nopeutta nostamalla voitiin määrittää maksimi tuotantotehokkuus.

Valitun kokonaistoiminnon todentaminen tapahtui prototyypillä. Aluksi ajateltiin tehdä osatoiminnoille omat prototyypit, jolloin saataisiin testattua laajemmin eri osatoimintoratkaisuja. Toimeksiantajan toiveena oli kuitenkin saada yksi kokonainen prototyyppi, jolloin laitteen idea ymmärrettäisiin jatkokehitysvaiheessa paremmin. Osatoimintoprototyypit eivät olisi testanneet niiden yhteensopivuutta toisiinsa. Kokonaistoimintoa esittävä prototyyppi oli oikea ratkaisu.

Projektin tulokset olivat

- CAD-malli laitteesta
- proof-of-concept-tyylinen prototyyppi

- yksityiskohtaiset periaatepiirustukset
- projekti- ja suunnitteludokumentointi
- alustavaa tietoa laitteen ergonomiasta ja turvallisuudesta
- kuvia ja videoita prototyypin rakentamisesta sekä testaamisesta.

Tulokset vastasivat annettuja tavoitteita ja tuotantokapasiteetti ylitettiin. Toissijaisena tavoitteena oli yltää pakkauskoneen tuotantokapasiteettiin. Se ylitettiin noin 25 %. Ensisijaisena tavoitteena oli vähentää käsityön määrää, ja se täytettiin. Suunnittelussa laitteessa työntekijä laittaa raaka-ainepalan laitteeseen ja ottaa sen pois laitteen loppupäässä olevasta kuljettimesta. Jos laitteen loppupäässä on pakkauskone, käsityötä tapahtuu vain laitteen alkupäässä.

Laitteen lopulliset suunnitelmat olivat selkeät ja helposti ymmärrettävät. Ne sisälsivät kaikki todennetut ratkaisut, joita prototyypissä testattiin, ja osaa niistä parannettiin. Esimerkiksi leikkurin molemmiin puoliin kulkevat painimet päivitettiin laitteen lopullisiin suunnitelmiin lisäämällä niiden massaa ja parantamalla niiden paikoitusta terään nähden. Myös avautoiminto muutettiin toimimaan varmemmin. Raaka-aineen aukaisu tapahtuu rampin muotoisella levyllä. Kun raaka-aine on avautunut oikein, levy vetäytyy pois tieltä. Prototyypin ratkaisussa raaka-aine laskeutui levyn päälle, jolloin se saattoi luistaa ohi avauslevystä. Itse CAD-mallia ei olisi tarvinnut mallintaa niin tarkasti, mutta valmiilta tuotteelta näyttävä malli auttaa jatkokehittelijää ymmärtämään laitteen idean.

Laitteen suunnitelmat ovat yhden henkilön näkemys toteuttavasta laitteesta, joten jatkoprojekteissa on hyvä purkaa laite uudestaan osatoimintoihin ja alkaa kehittää lopullista laitetta niiden pohjalta. Jatkoprojekteissa laite tulisi suunnitella uudestaan konedirektiivien asettamien säädösten mukaan. Sen ulkomuotoa tulisi muuttaa kompaktimmaksi ja sen turvallisuuteen tulisi kiinnittää enemmän huomiota. Toimintavarmuutta tulee myös parantaa. Laite on uusi eikä sen toimintoja ole esitetty julkisesti, joten sille voidaan halutessa hakea patenttia.

Laitteen ohjausjärjestelmä suunniteltiin Arduino-mikrokontrollerin pohjalta. Arduinon ja laitteen välille tehtiin signaalin muuntoelektroniikkaa, jolla saatiin jännite-erosta aiheutuva yhteensopivuusongelma ratkaistua. Laite suunniteltiin täy-

sin automaattiseksi. Suunniteltua ohjausjärjestelmää ei kuitenkaan käytetä lo-pullisessa laitteessa, vaan se korvataan logiikkaohjaimen pohjalle rakennetulla ohjausjärjestelmällä. Ohjausjärjestelmä suunniteltiin lähinnä prototyypin auto-matisointiin. Logiikkaohjainta olisi voinut käyttää prototyypissä, mutta Arduinon käyttö oli luontevampaa ja nopeampaa tekijälle. Logiikkaohjaimen koodia olisi voitu suoraan käyttää apuna jatkokehitysvaiheissakin.

Prototyypillä saavutettiin tavoitellut tulokset. Se todensi ne ratkaisut, joita yksi-tyiskohtaisessa suunnittelussa saatiin aikaan. Suunniteltu leikkaustoiminto toimi ilman muutoksia prototyypissä, koska sen rakenne ja toiminta otettiin valmiista ratkaisusta, jota toimeksiantaja käyttää tehtaallaan. Avaustoiminto toimi odote-tulla tavalla, mutta sen toimintavarmuus oli liian pieni. Raaka-aineen keskitystoi-minto toimi melkein täydellisesti prototyypissä. Keskityksessä ilmeni ongelmia, jotka johtuivat vesisuihkun puutteesta. Vesisuihkun tarkoitus oli puhdistaa pin-toja, jotka olivat kosketuksessa raaka-aineeseen. Jos tilat olisivat sen mahdol-listaneet, olisi prototyyppiin pitänyt lisätä vesisuihkut. Tällä tavalla olisi voitu to-dentaa ongelmat, joiden oletettiin johtuvan vesisuihkun puutteesta.

Projektissa suunniteltu laite oli uusi, eikä sitä ole vielä markkinoilla. Projektin tu-lokset vastasivat toimeksiantajan tarvetta ja niitä tullaan hyödyntämään laitteen jatkosuunnitteluvaiheissa. Suunnitelmat laitteesta ovat todennetusti toimivia, mutta niiden pohjalta valmistettu laite ei ole täysin toimintavarma. Jatkokehitys-projektien tehtävänä on suunnitella koneesta turvallinen ja toimintavarma. Tu-lokset luovutettiin toimeksiantajalle loppuraportoinnin yhteydessä.

8 POHDINTA

Toimeksiantajan tarpeena oli saada laite, joka vähentää käsityön määrää eräällä heidän tuotantolinjoistaan. Tarpeen pohjalta perustettiin tuotekehitysprojekti. Sen tarkoituksena oli suunnitella laite ja todentaa sen ratkaisut proof-of-consept-prototyypillä. Projekti onnistui kokonaisuutenaan hyvin. Toimeksiantajan kanssa sovitut tavoitteen täytettiin, ja proof-of-consept-tyylinen prototyyppi toimi odotetusti. Se todensi laitteen lopullisissa suunnitelmissa käytetyt ratkaisut. Suunnitelmien pohjalta valmistettu laite moninkertaistaa toimeksiantajan tuotantotehokkuuden valmistettavalle tuotteelle.

Systemaattisen konesuunnittelun pohjalta luotu projektimalli toimi hyvin. Se määräsi selvän järjestyksen projektin eri vaiheille, ja seuraava työtehtävä oli aina selvillä. Aikatauluun panostaminen oli projektin suunnittelun tärkein osa. Aikataulu sisälsi kaiken, mitä projektissa piti saada valmiiksi, ja se toimi ikään kuin muistilistana. Projektin raportoinnissa tuli välillä katkoksia kesäloman takia, mutta se ei haitannut projektin kulkua.

Projektin raportointimalli toimi ja sen avulla yhteyshenkilöt pysyivät tiedotettuina säännöllisin väliajoin. Projektin viisi etappia olivat sopiva määrä, mutta oma etappi testaamiselle olisi tarvittu. Se olisi korostanut testaamisen tärkeyttä ja tarkentanut testaamisen ajankohtia. Kokouksista kirjoitetut muistiot auttoivat muistamaan sovittuja asioita jälkeenpäin, ja ennen kokousta lähetetyt esityslistat lyhensivät ja helpottivat kokousten käymistä.

Esisuunnitteluun ja yksityiskohtaiseen suunnitteluun panostettiin. Tällä varmistettiin se, että jos jokin prototyypin toiminnoista ei onnistunut, pystyttiin se korvaamaan nopeasti toisella. Suunnittelun vaikeuksia olivat resurssien puuttuminen. Suunnittelussa täytyi huomioida komponenttien saatavuus ja toimitusajat.

Varsinaista budjettia ei projektilla ollut, joten rahaa täytyi anoa Oulun ammattikorkeakoulun koneosaston johtajalta. Jos projektilla olisi ollut selvä budjetti, olisi suunnittelu ollut helpompaa, koska silloin olisi ollut helppo laskea, mihin on varaa ja mihin ei ole. Suunnitteluiden tuloksia pystytään jatkossa hyödyntämään jatkoprojekteissa. Komponenttien mitoituslaskelmat jäivät projektissa tekemättä,

koska projektin tarkoituksena oli todentaa suunnitellut ratkaisut tarvittavasta laitteesta. CAD-mallin osat eivät vastanneet lopullisia osia, joten niitä oli turha alkaa mitoittamaan. Prototyypissä komponentit olivat valmiina laboratorion tiloissa. Tilatut osat olivat yksinkertaisia mekaniikan komponentteja, jotka eivät tarvinneet mitoitus-

Prototyypin valmistus poikkesi suunnitelmasta paljon. Tarkoitus oli testata eri ratkaisuja ja niiden toimivuutta erikseen, mutta aikataulun takia yhden kokonaisuuden rakentaminen ja testaaminen tuntuivat paremmalta ratkaisulta. Yhden kokonaisen prototyypin rakentamisessa otettiin riski, koska jos prototyyppi ei olisikaan toiminut ja aika olisi loppunut kesken, ei projektin tavoitteisiin olisi päästy. Prototyyppi toimi kuten oli suunniteltu. Tavoitteisiin päästiin ja toissijainen tavoite ylitettiin. Valmis prototyyppi testattiin kolmessa vaiheessa toimivuuden varmistamiseksi ja hyväksynnän jälkeen se purettiin. Prototyypistä jäi jatko-projekteihin kuva- ja videomateriaalit sekä suunnittelupiirustukset.

Prototyypin ohjausjärjestelmä suunniteltiin Arduino-mikrokontrollerin pohjalle. Arduinon ja prototyypin välille rakennettiin signaalin muuntoelektroniikkaa, jolla saatiin jännite-erosta aiheutuva yhteensopivuusongelma ratkaistua. Prototyypistä tehtiin täysin automaattinen. Koodista olisi voinut tehdä yksinkertaisemman ja sen olisi voinut pilkkoa monelle mikrokontrollerille, jolloin olisi säästetty aikaa. Kuitenkin tehty koodi toimi hyvin, vaikkakin se sisälsi lopputestauksessa vielä muutaman virheen. Lopullisessa laitteen versiossa tullaan käyttämään mikrokontrollerin sijaan ohjelmoitavaa logiikkaohjainta. Logiikkaohjaimet ovat käytetyimpiä tehtaisiin suunnitelluissa koneissa.

Opinnäytetyöprojekti oli haastava ja aikaavievä, mutta suunnitteluvaiheen panostus teki prototyypin valmistamisesta ja testaamisesta helppoa. Aikaa kului eniten suunnitteluun ja komponenttien löytämiseen. Testaamisvaiheen onnistumiset saivat projektin päättymään etuajassa, ja ennen kaikkea toimeksiantaja oli tyytyväinen projektin tuloksiin. Kaikkiin tavoitteisiin päästiin ja ne jopa ylitettiin. Kokonaisuutenaan tuotekehitysprojekti onnistui erittäin hyvin.

LÄHTEET

1. Virkkala, Vilko 1972. Innovaatiot ja luova mielikuvitus. Teoksessa Leskinen, Juhani. Tekniikan käsikirja 7: Konesuunnitteluoppi. Jyväskylä: K.J. Gummerus Oy. S. 77–100.
2. Pahl, Gerhard – Beitz, Wolfgang 1992. Konesuunnitteluoppi. Helsinki: Metaliteollisuuden kustannus.
3. Jokinen, Tapani 1987. Tuotekehitys. Helsinki: Hakapaino Oy.
4. Välimaa, Veikko – Kankkunen, Martti – Lagerroos, Olle – Lehtinen, Markku 1994. Tuotekehitys: Asiakastarpeesta tuotteeksi. Helsinki: Painatuskeskus Oy.
5. Kontio, Esa 2014. T318208 Tuotekehitys 8 op. Opintojakson oppimateriaali syksyllä 2014. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu Oy, tekniikan yksikkö.
6. Somiya, Shigeyuki 2013. Handbook of Advanced Ceramics: Materials, Applications, Processing, and Properties. United States: Academic Press.
7. Arduino - Introduction. 2016. Arduino. Saatavissa: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Hakupäivä 24.3.2016.
8. SFS-EN 1005-4+A1. 2009. Koneturvallisuus. Ihmisen fyysinen suorituskyky. OSA 4: Koneesta aiheutuvien työasentojen ja liikkeiden arviointi. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Opinäytetyö: Lasti Käivosoja

Projekti: Lohimetalipölyn leikkukone

Väliseisän muokaus: 6.12.2015

Projektitietä

Suunnitelma

Toteutus

KOULU SUJUTTUVA

Projektin suunnitelma (M4)	Vastuunhenkilö	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Alustelu	Suunnitelma Toteutus																														
Vaatimuslisa	Suunnitelma Toteutus																														
Tuoteselitys	Suunnitelma Toteutus																														
Projektisuunnitelma	Suunnitelma Toteutus																														
Käsitelmä 0	Suunnitelma Toteutus																														
Esisuunnitelma (M1)	Suunnitelma Toteutus																														
Paljonnohjohtaminen	Suunnitelma Toteutus																														
Osakomponentin joko	Suunnitelma Toteutus																														
Osakomponentin rakentaminen	Suunnitelma Toteutus																														
Kokoonasetus	Suunnitelma Toteutus																														
Tuotusohjeiden joko ja niiden vertailu	Suunnitelma Toteutus																														
Tuotusohjeiden rakentaminen	Suunnitelma Toteutus																														
Käsitelmä 1	Suunnitelma Toteutus																														
Yhteisösuunnitelma (M2)	Suunnitelma Toteutus																														
Lähtökäsit	Suunnitelma Toteutus																														
Mekaanikkasuunnitelma/maailman	Suunnitelma Toteutus																														
Käsitelmä/maailman rakentaminen	Suunnitelma Toteutus																														
Ohjeiden joko ja niiden vertailu	Suunnitelma Toteutus																														
Tuotusohjeiden joko ja niiden vertailu	Suunnitelma Toteutus																														
Tuotusohjeiden rakentaminen	Suunnitelma Toteutus																														
Käsitelmä 2	Suunnitelma Toteutus																														
Prototyypin ja CAD mallin tekeminen (M3)	Suunnitelma Toteutus																														
CAD mallin tekeminen	Suunnitelma Toteutus																														
Osien valmistaminen	Suunnitelma Toteutus																														
Elektronikan valmistaminen	Suunnitelma Toteutus																														
Ohjelmointi	Suunnitelma Toteutus																														
Elektronikan testaus	Suunnitelma Toteutus																														
Kokoonpano	Suunnitelma Toteutus																														
Yhteisösuunnitelma	Suunnitelma Toteutus																														
Projektin päättäminen (M4)	Suunnitelma Toteutus																														
Projektin lopputiedot	Suunnitelma Toteutus																														
Opinäytetyön raportti	Suunnitelma Toteutus																														
Työn esteet	Suunnitelma Toteutus																														
Dokumenttien luovutus	Suunnitelma Toteutus																														